

## 明細書

## 除振方法およびその装置

## 技術分野

本発明は、正のバネ特性を有する支持機構と並列に、正のバネ特性を有する支持機構と負のバネ特性を有する支持機構を直列に接続した支持機構を配置してなる除振方法およびその装置に関するものである。

## 背景技術

現在、半導体デバイス製造システムや極微小領域計測システム等では、急速に高精度化、高性能化してきており、これらのシステムでは、振動等の外乱を除去する除振、除振装置の重要性が増大している。除振装置で除去すべき振動外乱は、設置床からの振動に起因する地動外乱と、装置のバネ上に入力される直動外乱とに大別でき、前者には低剛性の機構が適しており、後者には高剛性の機構が適している。図20(A)は、地動外乱を絶縁して除振する従来のパッシブ除振システムを示すもので、床36からの振動伝達率を低くするためにバネ特性 $k$ を小さくしてバネ剛性を小さくすると、除振テーブル32（質量 $m$ ）上の質量変化 $\Delta m$ や除振テーブル32に作用する荷重の変化等のバネ上での外乱に対して弱くなってしまう。逆に、バネ上での外乱に対してはある程度バネ剛性を大きくする必要がある。このような外乱吸収のための低剛性機構と、位置、姿勢保持のための高剛性機構という相反する特性が要求される。

図20(B)に示すように、一般に、正のバネ特性 $k_1$ 、 $k_2$ を有する2つのバネ35-1、35-2を直列に結合して1つの除振機構を構成すると、そのバネ特性は次式で求められる。

$$k_c = k_1 k_2 / (k_1 + k_2) \quad (1)$$

つまり、通常の正のバネ特性を有するバネを直列に結合すると、結合してできたバネ特性は、結合前のバネ特性より必ず小さくなるものである。したがって、これら従来のバネのみを使用した除振装置では、質量変化や振動等のバネ上での外

乱に対して高い剛性を確保することが極めて困難であることから、アクティブ除振制御装置が提案された。

図 2 1 は、一般的なアクティブ除振制御装置の原理を示したもので、除振台 1 1 0 上に設置された加速度センサ 1 1 4 による検出信号に基づいてコントローラ 1 1 5 によって除振台 1 1 0 の振動を抑制する制御入力を計算し、求められた制御入力によって、バネ 1 1 1 および減衰器 1 1 2 と並列に設置されたアクチュエータ 1 1 3 を動作させることによって除振制御を行う。

しかしながら、このようなアプローチは、除振台や床の振動が正確に検出されることを前提としており、実現化されるには、低周波の振動まで感度良く検出できるサーボ型加速度センサを用いる必要があるために高価格になる上、採用されるサーボ型加速度センサによっては、直動外乱に対する剛性が未だ充分とはいえず、完全な振動絶縁性能を確保するには不十分であった。

そこで本発明者らは、前記従来の除振方法およびその装置の課題を解決するために、先に、地動外乱に対する振動絶縁性能を損なうことなく、直動外乱に対する高い剛性を確保して、高い除振機能を発揮して精密加工等を可能にする除振方法およびその装置を提案している（特開 2 0 0 2 - 8 1 4 9 8 参照）。

上記文献で開示した除振方法および装置は、床（ベース）と中間台（第 1 部材）との間をバネにより除振するとともに、前記中間台（第 1 部材）と除振テーブル（第 2 部材）との間を永久磁石と電磁石とから構成されるゼロパワー特性を有する磁気浮上機構により除振するもので、床と中間台との間のバネによるバネ除振および中間台と除振テーブル間の磁気浮上機構による除振により地動外乱に対する振動絶縁性能を損なうことなく、直動外乱に対する高い剛性を確保して、高い除振機能を発揮して精密加工等を可能にしている。

しかしながら、上記文献で開示した除振方法およびその装置は、ゼロコンプライアンス機構としては十分な機能を達成できたが、ステッパー等製品の大型化によって新たな問題が浮き上がってきた。

即ち、負のバネ特性を実現するアクチュエータ（磁気浮上機構等）が当該除振テーブルの全質量を支持しなければならず、そのため、大型除振装置を実現するには、大出力のアクチュエータが必要となるという大きな障害が生じてきた。

また、負のバネ特性を実現するのに、ゼロパワー磁気浮上機構を利用する場合には、ゼロパワー磁気浮上用の永久磁石が大量に必要となってしまう、高コスト化の問題が生じてきた。

さらに、ゼロパワー磁気浮上のように直流電磁石の吸引力を利用した磁気浮上系では、原理的に浮上対象物に吸引力だけしか作用させられないので、除振テーブルの吸引力が作用する部分は、中間台に下側にある必要がある。このことは、除振装置の構造を複雑にすると同時に装置の設計の自由度を狭めることになる。

そこで本発明は、ゼロコンプライアンス機構と並列に、荷重支持用のバネ支持機構を配置することにより、地動外乱への振動絶縁特性を劣化させることなく、直動外乱への剛性も高くでき、しかも質量の大きな装置に対しても低コストで高性能を維持できる除振方法およびその装置を提供することを目的とする。

以下、本発明の原理を図 1 を用いて説明する。

バネ特性  $k_1$ 、 $k_2$  を持つ二つのバネを直列に統合し、さらにこれにバネ特性  $k_3$  を持つバネを並列に接続して一つのバネを作ると、その合成バネ特性  $k_c$  は次式で求められる。

$$k_c = [k_1 \cdot k_2 / (k_1 + k_2)] + k_3$$

したがって、 $k_1 = -k_2$

という関係を満たすようになれば、 $k_3$  の値に依らず

$$|k_c| = +\infty$$

となることが判る。

以上のことから、正のバネ特性と負のバネ特性とを直列に接続して構成したゼロコンプライアンス機構と並列に荷重支持用のバネ要素を配設しても、直動外乱に対する剛性は、無限大に保持されることが判る。

本発明は、上記知見に基づいてなされたもので、正のバネ特性を有する荷重支持機構と並列に、正のバネ特性を有する支持機構と負のバネ特性を有する支持機構とを直列に接続した構成を採用した点に特徴がある。

#### 発明の開示

上記目的を達成するために、本発明が採用した技術解決手段は、

ベースと第2部材との間に第1部材を介して正のバネ特性を有する支持機構と負のバネ特性を有する支持機構とを直列に接続した支持機構と、前記支持機構と並列に正のバネ特性を有する荷重支持機構をベースと第2部材との間に配置することにより直動外乱に対して略無限大の剛性を有せしめるとともに、ベースに対する振動を絶縁することを特徴とする除振方法である。

また、ベースと第1部材との間にバネを配設してベースから第1部材に伝わる振動を絶縁するとともに、前記第1部材と第2部材との間に永久磁石と電磁石とから構成されるゼロパワー特性を有する磁気浮上機構を配設し、さらにベースと第2部材との間に正のバネ特性を有する荷重支持機構を配設することにより、前記第1部材から第2部材に伝わる振動を絶縁するとともに、前記第2部材に係る荷重を前記磁気浮上機構と前記荷重支持機構により支持できるようにしたことを特徴とする除振方法である。

また、ベースと第1部材との間にバネを配設してベースから第1部材に伝わる振動を絶縁するとともに、前記第1部材と第2部材との間に永久磁石と電磁石とから構成されるゼロパワー特性を有する磁気浮上機構とその磁気浮上機構と並列に正のバネ特性を有するバネ要素を配設し、さらにベースと第2部材との間に正のバネ特性を有する荷重支持機構を配設することにより、前記第1部材から第2部材に伝わる振動を絶縁するとともに、前記第2部材に係る荷重を前記磁気浮上機構と前記荷重支持機構により支持できるようにしたことを特徴とする除振方法である。

また、ベースと第1部材との間に正のバネ特性を有するバネ要素とそのバネ要素と並列にリニアアクチュエータを配置し、ベースから第1部材に伝わる振動を絶縁するとともに、前記第1部材と第2部材との間に永久磁石と電磁石とから構成されるゼロパワー特性を有する磁気浮上機構を配設し、さらにベースと第2部材との間に正のバネ特性を有する荷重支持機構を配設することにより、前記第1部材から第2部材に伝わる振動を絶縁するとともに、前記第2部材に係る荷重を前記磁気浮上機構と前記荷重支持機構により支持できるようにしたことを特徴とする除振方法である。

また、ベースと第1部材との間にバネを配設してベースから第1部材に伝わる

振動を絶縁するとともに、前記第 1 部材と第 2 部材との間に負のバネ特性を有するゼロパワー磁気浮上機構を配置し、さらに第 2 部材とベースとの間に正のバネ特性を有する空気バネからなる荷重支持機構を配置することにより、前記第 1 部材から第 2 部材に伝わる振動を絶縁し、さらに、前記第 2 部材に作用する荷重の一部を前記荷重支持機構により支持することを特徴とする除振方法である。

また、ベースに所定の正のバネ特性を有するバネによって支持された中間台と、該中間台に対して永久磁石と電磁石とから構成されて所定の負のバネ特性のゼロパワー特性を有する磁気浮上機構によって支持された除振テーブルとを備え、さらに前記除振テーブルとベースとの間には正のバネ特性を有する荷重支持機構を配置したことを特徴とする除振装置である。

また、ベースに所定の正のバネ特性を有するバネによって支持された中間台と、該中間台に対して永久磁石と電磁石とから構成されて所定の負のバネ特性のゼロパワー特性を有する磁気浮上機構およびその磁気浮上機構と並列に配置した正のバネ特性を有するバネ要素によって支持された除振テーブルとを備え、さらに前記除振テーブルとベースとの間には正のバネ特性を有する荷重支持機構を配置したことを特徴とする除振装置である。

また、ベースに所定の正のバネ特性を有するバネ要素とリニアアクチュエータとによって支持された中間台と、該中間台に対して永久磁石と電磁石とから構成されて所定の負のバネ特性のゼロパワー特性を有する磁気浮上機構によって支持された除振テーブルとを備え、さらに前記除振テーブルとベースとの間には正のバネ特性を有する荷重支持機構を配置したことを特徴とする除振装置である。

また、前記荷重支持機構は、正のバネ特性を有するバネ要素とそのバネ要素に並列に設けた所定の減衰率の減衰装置とから構成されていることを特徴とする除振装置である。

また、前記荷重支持機構は、正のバネ特性を有する空気バネであることを特徴とする除振装置である。

また、前記ベースと中間台との間に、前記正のバネ特性を有するバネ要素と併設して所定の減衰率の減衰装置を設置したことを特徴とする除振装置である。

また、前記磁気浮上機構を構成する電磁石の吸引力は除振テーブルへ作用する

荷重の増減に応じて増減するように構成したことを特徴とする除振装置である。

また、前記除振装置において、前記ベースと前記除振テーブルは、共に対向部材を連結部材で連結して構成し、さらにベースと除振テーブルの対向部材が交互と成るように配置され、中央部のベースおよび除振テーブルの対向部材の間に中間台を配置したことを特徴とする除振装置である。

また、前記除振装置において、前記ベースは除振装置を形成する床であることを特徴とする除振装置である。

また、前記除振装置において、少なくともベース、中間台、除振テーブルの一群を一つのユニットとしてまとめて構成したことを特徴とする除振装置である。

また、ベースと第1部材との間にバネを配設してベースから第1部材に伝わる振動を絶縁するとともに、前記第1部材と第2部材との間にアクチュエータと制御装置から構成される支持機構により負のバネ特性を付与することによって、前記第1部材から第2部材に伝わる振動を絶縁し、さらに、前記第2部材とベースとの間に正のバネ特性を有する荷重支持機構を配置して、第2部材に作用する荷重の一部を前記荷重支持機構により支持することを特徴とする除振方法である。

また、ベースと第1部材との間にバネを配設してベースから第1部材に伝わる振動を絶縁し、さらに前記第1部材と第2部材との間にアクチュエータと制御装置から構成される支持機構により負のバネ特性を付与するとともに前記第1部材と第2部材との間に正のバネ特性を有するバネ要素を配置することによって、前記第1部材から第2部材に伝わる振動を絶縁し、さらに、前記第2部材とベースとの間に正のバネ特性を有する荷重支持機構を配置して、第2部材に作用する荷重の一部を前記荷重支持機構により支持することを特徴とする除振方法である。

また、ベースと第1部材との間に正のバネ特性を有する支持機構とリニアアクチュエータとを配設してベースから第1部材に伝わる振動を絶縁し、さらに前記第1部材と第2部材との間にアクチュエータと制御装置から構成される支持機構により負のバネ特性を付与するとともに前記アクチュエータと並列に前記第1部材と第2部材との間に正のバネ特性を有するバネ要素を配置することによって、前記第1部材から第2部材に伝わる振動を絶縁し、さらに、前記第2部材とベースとの間に正のバネ特性を有する荷重支持機構を配置して、第2部材に作用する

荷重の一部を前記荷重支持機構により支持することを特徴とする除振方法である。

また、ベースに所定の正のバネ特性を有するバネ要素によって支持された中間台と、該中間台に対してアクチュエータと制御装置から構成されて所定の負のバネ特性を有する支持機構によって支持された除振テーブルとを備え、前記除振テーブルとベースとの間には正のバネ特性を有する荷重支持機構を配置したことを特徴とする除振装置である。

また、ベースに所定の正のバネ特性を有するバネ要素とリニアアクチュエータとによって支持された中間台と、該中間台に対してアクチュエータと制御装置から構成されて所定の負のバネ特性を有する支持機構によって支持された除振テーブルとを備え、前記除振テーブルとベースとの間には正のバネ特性を有する荷重支持機構を配置したことを特徴とする除振装置である。

また、前記中間台と除振テーブルとの間に設ける支持機構（アクチュエータ）と並列に正のバネ特性を有するバネ要素を備えたことを特徴とする除振装置である。

また、前記除振装置において、前記ベースと前記除振テーブルは、共に対向部材を連結部材で連結して構成し、さらにベースと除振テーブルの対向部材が交互と成るように配置され、中央部のベースおよび除振テーブルの対向部材の間に中間台を配置したことを特徴とする除振装置である。

また、前記除振装置において、前記ベースは除振装置を形成する床であることを特徴とする除振装置である。

また、前記除振装置において、少なくともベース、中間台、除振テーブルの一群を一つのユニットとしてまとめて構成したことを特徴とする除振装置である。

また、ベースに所定の正のバネ特性を有するバネ要素によって支持された複数の中間台と、該複数の中間台に対してアクチュエータと制御装置から構成されて所定の負のバネ特性を有する支持機構によって支持された除振テーブルとを備え、前記除振テーブルとベースとの間には正のバネ特性を有する荷重支持機構を配置したことを特徴とする除振装置である。

また、前記荷重支持機構は、正のバネ特性を有するバネとそのバネに並列に設けた所定の減衰率の減衰装置とから構成されていることを特徴とする除振装置で

ある。

また、前記荷重支持機構は、正のバネ特性を有する空気バネであることを特徴とする除振装置である。

また、前記ベースと中間台との間に、前記正のバネ特性を有するバネと併設して所定の減衰率の減衰装置を設置したことを特徴とする除振装置である。

また、前記中間台に設けられたアクチュエータの伸びを除振テーブルへ作用する荷重の増減に応じて増減させるように構成したことを特徴とする除振装置である。

また、前記アクチュエータがボイスコイルモータ、リニアモータ、空気圧アクチュエータ、油圧アクチュエータ等のリニアアクチュエータであり、前記制御装置が変位センサおよび制御回路ならびに電力増幅器から構成されたことを特徴とする除振装置である。

#### 図面の簡単な説明

図 1 は本発明の原理を説明する図である。

図 2 は本発明の除振装置の第 1 実施例を示す図である。

図 3 は本発明の除振装置の第 2 実施例を示す図である。

図 4 は本発明の除振装置の第 3 実施例を示す図である。

図 5 は本発明の除振装置の第 4 実施例を示す図である。

図 6 は本発明の除振装置の第 5 実施例を示す図である。

図 7 は本発明の除振装置の第 6 実施例を示す図である。

図 8 は本発明の除振装置の第 7 実施例を示す図である。

図 9 は本発明の除振装置の第 8 実施例を示す図である。

図 10 は本発明の除振装置の第 9 実施例を示す図である。

図 11 は本発明の除振装置の第 10 実施例を示す図である。

図 12 は本発明の除振装置の第 11 実施例を示す図である。

図 13 は本発明の除振装置の第 12 実施例を示す図である。

図 14 は本発明の除振装置の第 13 実施例を示す図である。

図 15 は本発明の除振装置の第 14 実施例を示す図である。



図 1 6 は本発明の除振装置の第 1 5 実施例を示す図である。

図 1 7 は本発明の除振装置の第 1 6 実施例を示す図である。

図 1 8 はパッシブ除振装置にユニット型除振装置を付加した図である。

図 1 9 はパラレルリンクを利用した 6 自由度アクティブ除振装置である。

図 2 0 は従来のバネ系の除振システムの図である。

図 2 1 は従来のアクティブ除振システムの説明図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

本発明は、正のバネ特性を有する支持機構と負のバネ特性を有する支持機構とを直列に接続した支持機構に対して、正のバネ特性を有する荷重支持機構を並列に配置して構成した除振方法および除振装置である。また、前記除振装置を構成するベース、中間台、除振テーブルの一组を一つのユニットとしてユニット化した除振装置である。

以下、本発明の除振方法およびその装置の実施の形態を図面に基づいて説明する。本発明は、正のバネ特性を有する支持機構と、負のバネ特性を有する支持機構とを直列に接続するとともに、これらの支持機構に並列に正のバネ特性を有する支持機構を配置したことにより、装置上で発生する直動外乱に対して略無限大の剛性を有せしめるとともに、床（ベース）に対する振動を絶縁する。さらに除振テーブルの荷重全部（または一部）は磁気浮上機構によって受ける必要がなくなるので磁石部を小型化でき、コストの大幅な低減が図れるものである。以下、負のバネ特性を有する支持機構として、ゼロパワー特性を有する磁気浮上機構を用いた実施例 1 について説明する。なお、ゼロパワー特性を有する磁気浮上機構および電磁石の制御を含めた基本構成作用は、本発明者が提案した先の特許文献 1（特開 2 0 0 2 - 8 1 4 9 8）に示したものを使用するとともに、磁気浮上の原理は本発明の特徴ではないのでその詳細についての説明はここでは省略する。

図 2 は本発明の除振装置の第 1 実施例を示すもので、本発明は、ベースとして床を対象としたものであり、床 1 と中間台である第 1 部材 2 との間に所定の正のバネ特性  $k_1$  を有するバネ（バネ要素）を配設してベースから第 1 部材 2 に伝わる振動を絶縁するとともに、前記第 1 部材 2 と除振テーブルである第 2 部材 3 と

の間に永久磁石 6 と電磁石 7 とから構成される負のバネ特性を有する（ゼロパワー特性を有する）磁気浮上機構 4 を配設してある。さらに、床 1 と第 2 部材（除振テーブル） 3 との間には荷重支持用の正のバネ特性  $k_3$  を有する荷重支持機構 5 を配置している。なお、正のバネ特性  $k_1$ 、 $k_3$  を有する支持機構には、それぞれ必要に応じて所定の減衰率を有する減衰装置  $c_1$ 、 $c_3$  を図示のように並列に設けることもできる。

そして、本実施例の場合には、床 1 に対して所定の正のバネ特性  $k_3$  のバネによって支持された除振テーブル 3 と、中間台 2 に対して永久磁石と電磁石とから構成されて所定の負のバネ特性  $k_s$  を有し、且つゼロパワー特性を有する磁気浮上機構 4 によって支持された除振テーブル 3 とから構成されているため、図示の例では、中間台 2 に設けられた電磁石 7 の吸引力を永久磁石 6 が設けられた除振テーブル 3 の質量増加等に起因する荷重の増減に応じて増減させるように適宜の制御装置（図示省略）により制御することができる。また第 2 部材 3 に作用する荷重全部（または一部）を磁気浮上機構 4 によって受ける必要がなくなる。なお、本例では電磁石 7 が中間台 2 に、永久磁石 6 が除振テーブル 3 側に取り付けてあるが、これらを逆にしたり、まとめて一方側に取り付けることもできる。また、前記制御装置が変位センサおよび制御回路ならびに電力増幅器から構成されていることは前述した特許文献 1 の場合と同様である。さらに電磁石と永久磁石の配置については先に述べた特許文献 1（特開 2002-81498）で詳細に説明した構成のものを使用する事ができるのは当然である。

この結果ゼロパワー特性を有する磁気浮上機構内の磁石部を小型化でき、コストの大幅な低減が図れる。また構造を単純化することができ、除振装置全体の設計がやりやすくなると同時に低コスト化を図ることができる。

図 3 は本発明の除振装置の第 2 実施例を示している。前記第 1 実施例では、除振テーブル 3 の吸引力が作用する部分は、中間台 2 の下側にある。これは、ゼロパワー磁気浮上のように直流電磁石の吸引力を利用した磁気浮上系では、原理的に浮上対象物に吸引力だけしか作用させられないためであるが、このことは、除振装置の構造を複雑にすると同時に、装置の設計の自由度を狭めることにもなっている。

これに対し、バネ要素  $k_3$  を利用して重力よりも大きな上向きの力が除振テーブルに働くようにすれば、図 3 に示すような構成の除振装置が可能となる。この場合には除振テーブルの磁石の吸引力が作用する部分を中間台の下側にもってくる必要がなくなるので、装置全体の構造を単純化することができる。

図 3 を参照して第 2 実施例の構成を説明すると、床 1 には正のバネ特性を有する所定のバネ特性からなる支持機構により中間台 2 が支持されており、さらに中間台 2 と除振テーブル 3 との間には負のバネ特性を有する所定のバネ特性を有する磁気浮上機構 4 が配置されている。除振テーブル 3 は本例では中間台 2 の全体を上側から覆うような形状となっている。さらに、除振テーブル 3 には荷重支持機構を構成する正のバネ特性  $k_3$  を有する荷重支持機構が床 1 と除振テーブル 3 の間に配置されている。そして、前述した正のバネ特性を有する各支持機構には、それぞれ必要に応じて減衰装置を図に示すように並列に設ける。なお、本例では磁気浮上機構は中間台側に設けてあるが、除振テーブル 3 側に設けることもできる。

図 4 は本発明の除振装置の第 3 実施例を示している。前記第 2 実施例では、負のバネ特性の大きさは、ゼロパワー磁気浮上の永久磁石の強さと、中間台において永久磁石の吸引力が作用する箇所と永久磁石の間の空隙の大きさで決まってしまう。このため、第 3 実施例では、ゼロパワー磁気浮上機構と並列に正のバネ特性を有するバネ要素  $k_2$  を挿入することによって、負のバネ特性の大きさを調整することができるようにしている。

図 4 において、床 1 には正のバネ特性を有する所定のバネ特性からなる支持機構（バネ要素） $k_1$  により中間台 2 が支持されており、さらに中間台 2 と除振テーブル 3 との間には負のバネ特性を有する磁気浮上機構 4 が配置されている。また、中間台 2 と除振テーブル 3 との間に正のバネ特性を有するバネ要素  $k_2$  が磁気浮上機構 4 と並列に配置されている。除振テーブル 3 は本例では中間台 2 の全体を上側から覆うような断面が略コ字状をした形状となっている。さらに、除振テーブル 3 には荷重支持機構を構成する正のバネ特性  $k_3$  を有する荷重支持機構が床 1 と除振テーブル 3 の間に配置されている。そして、前述した正のバネ特性を有する各支持機構  $k_1$ 、 $k_3$  には、それぞれ必要に応じて減衰装置  $c_1$ 、 $c_3$

を図に示すように並列に設ける。なお、本例では磁気浮上機構は中間台側に設けてあるが、除振テーブル3側に設けることもできる。

上記のような構成とすることにより、ゼロパワー磁気浮上機構だけによる負のバネ特性の大きさを  $k_n$  とすると、中間台に対する除振テーブルの負のバネ特性の大きさは  $(k_n - k_2)$  となり、これと正のバネ特性の大きさ  $k_1$  とを等しく設定すれば、直動外乱に対して略無限大の剛性を保持したまま、床振動に対する振動絶縁特性をより良好にすることが可能となる。

図4に示した系を用いて、ゼロパワー磁気浮上機構と並列に正のバネ特性を有するバネ要素  $k_2$  を挿入することにより、中間台に対する除振テーブルの負のバネ特性の大きさが  $(k_n - k_2)$  となることを説明する。中間台が動かないと仮定する ( $x_1 = 0$ 、ただし  $x_1$  は中間台の平衡点からの変位) と、除振テーブルの運動方程式は、次式のように求められる。

【数1】

$$m_2 \ddot{x}_2 = (k_n - k_2)x_2 + k_i i + f_d \quad (1)$$

ここで、

$x_2$  : 除振テーブルの平衡点からの変位

$k_n$  : 磁石の変位・吸引力係数

$k_i$  : 磁石の電流・吸引力係数

$i$  : 制御電流

$f_d$  : 除振テーブルに作用する直動外乱

ゼロパワー制御を達成する制御入力は次のように表すことができる。

$$I(s) = -c_2(s)s X_2(s) \quad (2)$$

ここで  $c_2(s)$  は0 (ゼロ) を極にもたない強プロパーな伝達関数で、制御系が安定になるように選定される。中間台が動かないと仮定されている場合には2次式以上の次数を持つ制御器によって安定化が可能となる。

簡単のため初期条件を零と仮定して(1)式をラプラス変換し、これに式(2)を代入して整理すると次式が得られる。なお、各変数のラプラス変換は対応する大文字で表している。

【数 2】

$$X_2(s) = \frac{1}{ms^2 + k_1 c_2(s)s - (k_n - k_2)} F_d(s) \quad (3)$$

直動外乱に対する剛性を評価するために、

$$F d(s) = F_0 / s \quad F_0 : \text{一定} \quad (4)$$

とする。除振テーブルの中間台に対する変位  $x(\infty)$  は次のように求められる。

【数 3】

$$\frac{x_2(\infty)}{F_0} = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{1}{ms^2 + k_1 c_2(s)s - (k_n - k_2)} \cdot \frac{1}{s} = -\frac{1}{k_n - k_2} \quad (5)$$

したがって、除振テーブルの中間台に対する負の剛性（＝力／変位）の大きさは  $k_n - k_2$  となる。

図 5 は本発明の除振装置の第 4 実施例を示している。前記第 2 実施例（図 3 参照）では、床 1 に対する中間台 2 の正のバネ特性の大きさ及び減衰特性は、バネ要素  $k_1$  及び減衰装置  $c_1$  によって決まってしまう。これに対して図 5 に示すように、これらの要素と並列にリニアアクチュエータ A1 を床 1 と中間台 2 との間に挿入し、これを制御することにより正のバネ特性および減衰特性をより柔軟に調整することが可能となる。

図 5 において床 1 には正のバネ特性を有する支持機構（バネ要素  $k_1$ ）により中間台 2 が支持されており、さらにその支持機構  $k_1$  と並列にリニアアクチュエータ A1 が配置されている。そして中間台 2 と除振テーブル 3 との間には負のバネ特性を有する磁気浮上機構 4 が配置されている。除振テーブル 3 は本例では中間台 2 の全体を上側から覆うような断面が略コ字状をした形状となっている。さらに、除振テーブル 3 には荷重支持機構を構成する正のバネ特性  $k_3$  を有する荷重支持機構が床 1 と除振テーブル 3 の間に配置されている。前述した正のバネ特性を有する各支持機構  $k_1$ 、 $k_3$  には、それぞれ必要に応じて減衰装置  $c_1$ 、 $c_3$  が図に示すように並列に設けられている。なお、本例では磁気浮上機構は中間台側に設けてあるが、除振テーブル 3 側に設けることもできる。

図 6 は本発明の除振装置の第 5 実施例を示している。第 5 実施例は、荷重支持機構として、従来のパッシブ除振装置で用いられている空気バネを使用した構成

例である。

第 5 実施例では床 1 には正のバネ特性を有する所定のバネ特性からなる支持機構（バネ要素  $k_1$ ）により複数（本例では 2 台）の中間台 2 が支持されており、さらにそれぞれの中間台 2 と除振テーブル 3 との間には負のバネ特性を有するゼロパワー磁気浮上機構 4 が配置されている。さらに、除振テーブル 3 には荷重支持機構を構成する正のバネ特性  $k_3$  を有する空気バネ 9 が床 1 との間に配置されている。そして、前述した正のバネ特性を有する支持機構  $k_1$  には、必要に応じて減衰装置  $c_1$  を並列に設けることができる。

この構成によりゼロパワー磁気浮上機構 4 を利用して負の剛性を実現し、その絶対値を  $k_1$  と等しくすることによって、直動外乱に対する剛性を無限大とすることができる。したがって、従来のパッシブ除振絶縁特性を劣化させることなく、直動外乱に対する剛性を無限大とすることができる。

図 7 は本発明の除振装置の第 6 実施例を示している。前記第 6 実施例は、負のバネ特性を有する支持機構を実現するのにアクチュエータ（リニアアクチュエータ）8 を用いている。除振テーブル 3 は、正のバネ要素  $k_3$  と減衰要素  $c_3$  とからなる荷重支持機構 5 によって、床 1 から支持されている。この荷重支持機構 5 のバネ要素  $k_3$  の上向きの力を利用することによって、リニアアクチュエータ 8 で支持する荷重を軽減できるので、リニアアクチュエータ 8 が小型のもので済み、低コスト化が図れる。なお、前記リニアアクチュエータ 8 の代わりに、ボイスコイルモータ、リニアモータ、空気圧アクチュエータ、油圧アクチュエータ等のリニアアクチュエータを使用することができることは当然である。

図 8 は本発明の除振装置の第 7 実施例を示している。前記図 7 に示す第 6 実施例では、床に対する中間台の正のバネ特性の大きさ及び減衰特性は、バネ要素  $k_1$  と減衰要素  $c_1$  とによって決まってしまう。これに対して図 8 に示す第 7 実施例では、バネ要素  $k_1$  と減衰要素  $c_1$  と並列に負のバネ特性を有するリニアアクチュエータ 10 を中間台 2 と床 1 との間に挿入し、これを制御することにより正のバネ特性及び減衰特性をより柔軟に調整することができる。

図 8 において、除振テーブル 3 は、正のバネ要素  $k_3$  と減衰要素  $c_3$  とからなる荷重支持機構 5 によって、床 1 から支持されている。また、中間台は、正のバ

ネ要素  $k_1$  と減衰要素  $c_1$  とからなる支持機構によって、床 1 から支持されている。さらに前記バネ要素  $k_1$  と減衰要素  $c_1$  と並列に中間台と床 1 との間には負のバネ特性を有するリニアアクチュエータ 10 が配置される。また、中間台 2 と除振テーブル 3 との間には、負のバネ特性を有するアクチュエータ（リニアアクチュエータ）8 と正のバネ特性を有するバネ要素  $k_2$  が配置される。なお、中間台 2 と除振テーブル 3 との間の正のバネ特性を有するバネ要素  $k_2$  は、削除することも可能である。また、前記リニアアクチュエータ 8、10 の代わりに、ボイスコイルモータ、リニアモータ、空気圧アクチュエータ、油圧アクチュエータ等のリニアアクチュエータを使用することができることは当然である。

図 9 は本発明の除振装置の第 8 実施例を示している。第 8 実施例は、荷重支持機構 5 として、従来のパッシブ除振装置で用いられている空気バネを利用した場合の除振装置の構成例である。

第 8 実施例では床 1 には正のバネ特性を有する所定のバネ特性からなる支持機構により複数（本例では 2 台）の中間台 2 が支持されており、さらにそれぞれの中間台 2 と除振テーブル 3 との間には負のバネ特性を有するリニアアクチュエータ 8 が配置されている。除振テーブル 3 は本例では中間台 2 の全体を上側から覆うような形状となっており、さらに、除振テーブル 3 には荷重支持機構 5 を構成する正のバネ特性を有する空気バネ 9 が床 1 との間に配置されている。そして、前述した正のバネ特性を有する支持機構  $k_1$  には、必要に応じて減衰装置  $c_1$  を図に示すように並列に設ける。この構成によりリニアアクチュエータを利用して負の剛性を実現し、その絶対値を  $k_1$  と等しくすることによって、直動外乱に対する剛性を無限大とすることができる。したがって、従来のパッシブ除振絶縁特性を劣化させることなく、直動外乱に対する剛性を無限大とすることができる。

ところで、以上説明してきた第 1 実施例から第 8 実施例の「負の剛性と正の剛性を組み合わせた除振装置」では、正負双方の剛性の絶対値は等しくなるとき、除振テーブルが有する剛性が理論上無限大になるという現象を利用している。この中で負の剛性を実現する要素として「ゼロパワー特性を有する磁気浮上機構」が例にあげられており、これまでに「正の剛性」としてコイルバネを用いていた。

「剛性が理論上無限大になるという現象」は同一軸上に「負の剛性」と「正の剛

性」を配置した場合に、軸方向の剛性に関してのみ実現することができる。即ち除振テーブルが持つ6つの自由度全ての剛性を「理論上無限大」にするには少なくとも6軸の「負の剛性」と「正の剛性」の直列配置が必要となる。

例えば、前述した実施例を用いて6自由度除振装置を構成した場合には、本発明者がすでに提案、開示している特開2002-81498に記載した構成を採用することになる。

また、鉛直方向に配されたハイブリッド電磁石（前述したゼロパワー特性を有する磁気浮上機構であり、以下磁気浮上機構という）では中間台、除振テーブルの質量を支えるため、大型のものが必要になるが、水平方向に配されたものでは重力を支持する必要がないため反面差動型の構造を持つ必要がある。このため、除振テーブルの開発には2種類の負の剛性と正の剛性の組み合わせを開発する必要がある。

さらに、前記実施例では中間台（第1部材）を共通で一つにしているため、ある軸での中間台の振動の影響が他の軸にも及んでしまう場合がある。また、除振テーブルの構造上3自由度に対して4組の「負の剛性」と「正の剛性」の直列接続を用いなければならない場合は、その冗長性を排除するためにより複雑な制御系が必要となってしまう。また、6個全ての自由度の除振が必要ない場合でも、6自由度を考慮しなければならない。このように、上記の各実施例では中間台を共用にした構成であることから上述のような問題が発生する。

そこで、本発明の以下に述べる第9実施例～第12実施例は、軸方向に剛性が理論上無限大となるユニットを導入したものである。即ち少なくともベース、中間台、除振テーブルの一组をユニット化し、ユニット一つで1自由度の除振機能を持たせる。一つのユニットにつき一つの中間台を有するため、多自由度の除振を行う際の中間台が共通による問題点を解決することができる。また複数のユニットの組み合わせにより、多自由度の除振が可能であり、かつ余分な自由度を考慮しなくてすむ。さらに6自由度全てを除振する場合はパラレルリンク機構を採用すればよい。

以下本発明の第9実施例～第12実施例について図面を参照して説明する。

図10は第9実施例であり、この第9実施例は前述した第1～第8実施例に示



した除振装置において、少なくともベース（基台）、中間台（第１部材）、除振テーブル（第２部材）の一组をユニット化し、ユニット一つで一つの除振装置を構成したものである。

図１０において、２１は基台（以下ベースという）、２２は第１部材としての中間台、２３は第２部材としての除振テーブルであり、ベース２１および除振テーブル２３は図のように上下に離れた対向部材を連結部材２８、２９で結合し、さらに夫々の対向部材が交互となるように配置されている。前記対向部材は本例では図のように平板で構成してあるが、必ずしも平板ではなく、支持機構、磁気浮上機構、荷重支持機構を取り付けることができ、上記した機能を達成できるものであれば、種々の形態の対向部材を使用することができる。また、連結部材２８、２９も設計時に適宜形状のものを採用することができる。

そして、中間台２２は、図示のようにベース２１および除振テーブル２３との間の対向部材間に配置されている。ベース２１には正のバネ特性を有する所定のバネ特性からなる支持機構 $k_1$ により中間台２２が支持されており、さらに中間台２２と除振テーブル２３との間には負のバネ特性を有する所定のバネ特性を有する磁気浮上機構２４が配置されている。さらに、除振テーブル２３には荷重支持機構を構成する正のバネ特性 $k_3$ を有する荷重支持機構がベース２１と除振テーブル２３の間に配置されている。そして、前述した正のバネ特性を有する各支持機構には、それぞれ必要に応じて減衰装置 $c_1$ を並列に設ける。なお、本例では磁気浮上機構を構成する電磁石を中間台に、永久磁石を除振テーブル２３に設けてあるがこの配置を逆にすることも可能である。また、荷重支持機構としてのバネ $k_3$ の代わりに前述した実施例でも説明した空気バネを使用することも可能である。さらに前記磁気浮上機構２４と並列に正のバネ特性を有するバネ要素を配置することもできる。

図１１は第１０実施例である。第１０実施例は前記第９実施例における支持機構 $k_1$ と並列に正の剛性を持つリニアアクチュエータ３２を配置したものである。

図１２は第１１実施例である。第１１実施例は前記第９実施例における磁気浮上機構の代わりに負の剛性を持つアクチュエータ３１を配置したものである。

図１３は第１２実施例である。第１２実施例は前記第９実施例における磁気浮

上機構の代わりに負の剛性を持つアクチュエータ 3 1 と正のバネ特性を有するバネ要素 k 2 を配置し、さらにベースと中間台との間に配置した支持機構と並列に正の剛性を持つアクチュエータ 3 2 を配置したものである。

ところで、上記第 9 ～ 第 1 2 実施例は、少なくともベース（基台）、中間台（第 1 部材）、除振テーブル（第 2 部材）の一组をユニット化して構成したものである。具体的には、ベースと除振テーブルは、共に対向部材を備え、それらの対向部材を連結部材 2 8、2 9 で連結して構成し、さらにベースと除振テーブルの対向部材が交互となるように配置され、中央部のベースおよび除振テーブルの対向部材の間に中間台を配置した構成（入れ子式という）となっている。しかしながら、前記のような入れ子式の構造にすると、装置の構造を複雑化すると同時に設計の自由度を狭めることになり、製作に手間やコストがかかる。

このため、以下の述べる第 1 3 実施例～第 1 6 実施例は、前記第 9 実施例～第 1 2 実施例の支持機構と前記図 3（第 2 実施例）～図 9（第 8 実施例）に示すような荷重支持機構を併用して構成することにより、前記入れ子式の構造を不要とし、より実用性が高いユニットとすることができるものである。

図 1 4 は第 1 3 実施例であり、この第 1 3 実施例は前述した第 9 実施例に示した入れ子式の除振装置と、第 2 実施例等に示す非入れ子式の構成とを併用して構成したものである。

図 1 4 において、2 1 は基台（以下ベースという）、2 2 は第 1 部材としての中間台、2 3 は第 2 部材としての除振テーブルであり、ベース 2 1 および除振テーブル 2 3 は図のように上下に離れて配置され、さらにベース 2 1 と除振テーブル 2 3 との間に中間台が配置されている。ベース 2 1 は、正のバネ特性を有する所定のバネ特性からなる支持機構 k 1 を介して中間台 2 2 を支持されており、さらに中間台 2 2 と除振テーブル 2 3 との間には負のバネ特性を有する所定のバネ特性を有する磁気浮上機構 2 4 が配置されている。さらに、除振テーブル 2 3 とベース 2 1 との間には荷重支持機構を構成する正のバネ特性 k 3 を有する荷重支持機構が配置されている。そして、前述した正のバネ特性を有する各支持機構には、それぞれ必要に応じて減衰装置 c 1 を並列に設ける。なお、本例では磁気浮上機構を構成する電磁石を除振テーブル 2 3 に、また永久磁石を中間台 2 2 に設

けてあるが、この配置を逆にすることも可能である。また、荷重支持機構としてのバネ  $k_3$  の代わりに前述した実施例でも説明した空気バネを使用することも可能である。さらに前記磁気浮上機構 24 と並列に正のバネ特性を有するバネ要素を配置することもできる。

図 15 は第 14 実施例である。第 14 実施例は前記第 13 実施例における支持機構  $k_1$  と並列に正の剛性を持つリニアアクチュエータ 32 を配置したものである。

図 16 は第 15 実施例である。第 15 実施例は前記第 13 実施例における磁気浮上機構の代わりに負の剛性を持つアクチュエータ 31 を配置したものである。

図 17 は第 16 実施例である。第 16 実施例は前記第 13 実施例における磁気浮上機構の代わりに負の剛性を持つアクチュエータ 31 と正のバネ特性を有するバネ要素  $k_2$  を配置し、さらにベースと中間台との間に配置した支持機構と並列に正の剛性を持つアクチュエータ 32 を配置したものである。

上記ユニット化した除振装置の使用方法を図 18、図 19 に示す。図 18 はテーブルの脚と平行にユニット化した除振装置を配置した例であり、また、図 19 はパラレルリンクを利用した 6 自由度アクティブ除振装置の例である。

以上、本発明の除振方法およびその装置の実施の形態を説明してきたが、本発明の趣旨の範囲内で、中間台および除振テーブルの形状、形式、電磁石および永久磁石の形状、形式およびそれらの配設形態（電磁石を中間台あるいは除振テーブルに設置するか、永久磁石を除振テーブルあるいは中間台に設置するか、永久磁石に加えて強磁性体を併設するか、もしくは永久磁石を電磁石の鉄心に組み込んで除振テーブルあるいは中間台のいずれか一方にのみ設置し、他方には強磁性体を設置するように構成してもよい）、アクチュエータ、バネおよび減衰装置の形状、形式およびその中間台への配設形態（床と中間台との間にはバネに加えて適宜の減衰装置を併設してもよい）、ゼロパワー特性を有する磁気浮上手段、アクチュエータの制御手段（変位センサの種類、制御回路の形式、電力増幅形態およびそれらによるアクチュエータの制御形態）、除振の方向（前述の各実施の形態では、主として垂直方向の除振について説明したが、水平方向の除振、あるいは垂直方向および水平方向を同時に除振するように構成できることは言うまでも

ない。)等については適宜選定できる。また、床は所謂基台のことであり、また中間台、除振テーブルの形状も適宜形状のものを選択できる。さらに、正の剛性を有する支持機構（バネ要素）としては、ゴム等を含むパッシブな弾性体や正の剛性を持つアクチュエータを使用することができる。また、負の剛性を持つ磁気浮上機構として負の剛性をもつようにアクティブ制御された各種アクチュエータを使用することができる。

また本発明はその精神また主要な特徴から逸脱することなく、他の色々な形で実施することができる。そのため前述の実施例は単なる例示に過ぎず、限定的に解釈してはならない。更に特許請求の範囲の均等範囲に属する変形や変更は全て本発明の範囲内のものである。

#### 産業上での利用可能性

本発明では、正のバネ特性を有する荷重支持機構と並列に、正のバネ特性を有する支持機構と負のバネ特性を有する支持機構とを直列に接続した構成を採用することにより、以下のような特有の効果を達成することができる。

(a) 負のバネ特性を有する支持機構を実現するのにゼロパワー磁気浮上機構を利用した場合。

除振テーブルの荷重全部（または一部）を磁気浮上機構によって受ける必要がなくなるので磁石部を小型化でき、コストの大幅な低減が図れる。

また構造を単純化することができ、除振装置全体の設計がやりやすくなると同時に低コスト化を図ることができる。

(b) 負のバネ特性を有する支持機構を実現するのにリニアアクチュエータを利用した場合。

除振テーブルの荷重全部（または一部）をリニアアクチュエータによって受ける必要がなくなるので、低出力なアクチュエータを利用できるようになるので、コストの大幅な低減を図ることができる。

(c) 前述の除振機構を構成するベース、中間台、除振テーブルの一組を一つのユニットとしてまとめて構成することにより、これらを複数組み合わせることで多自由度の除振装置を容易に構成することができ、かつ、余分な自由度を考慮す

る必要をなくすことができる。さらに、6自由度全てを除振する場合には平行リンク機構を採用することで容易に対応することができる。

したがって、本発明は、

(1) 半導体露光装置やレーザー加工装置などの精密機器・装置

(2) 電子顕微鏡、STM、AFMなどの超精密計測

(3) 超微細加工分野

等に利用することができる。

### 請求の範囲

1. ベースと第2部材との間に第1部材を介して正のバネ特性を有する支持機構と負のバネ特性を有する支持機構とを直列に接続した支持機構と、前記支持機構と並列に正のバネ特性を有する荷重支持機構をベースと第2部材との間に配置することにより直動外乱に対して略無限大の剛性を有せしめるとともに、ベースに対する振動を絶縁することを特徴とする除振方法。

2. ベースと第1部材との間にバネを配設してベースから第1部材に伝わる振動を絶縁するとともに、前記第1部材と第2部材との間に永久磁石と電磁石とから構成されるゼロパワー特性を有する磁気浮上機構を配設し、さらにベースと第2部材との間に正のバネ特性を有する荷重支持機構を配設することにより、前記第1部材から第2部材に伝わる振動を絶縁するとともに、前記第2部材に係る荷重を前記磁気浮上機構と前記荷重支持機構により支持できるようにしたことを特徴とする除振方法。

3. ベースと第1部材との間にバネを配設してベースから第1部材に伝わる振動を絶縁するとともに、前記第1部材と第2部材との間に永久磁石と電磁石とから構成されるゼロパワー特性を有する磁気浮上機構とその磁気浮上機構と並列に正のバネ特性を有するバネ要素を配設し、さらにベースと第2部材との間に正のバネ特性を有する荷重支持機構を配設することにより、前記第1部材から第2部材に伝わる振動を絶縁するとともに、前記第2部材に係る荷重を前記磁気浮上機構と前記荷重支持機構により支持できるようにしたことを特徴とする除振方法。

4. ベースと第1部材との間に正のバネ特性を有するバネ要素とそのバネ要素と並列にリニアアクチュエータを配置し、ベースから第1部材に伝わる振動を絶縁するとともに、前記第1部材と第2部材との間に永久磁石と電磁石とから構成されるゼロパワー特性を有する磁気浮上機構を配設し、さらにベースと第2部材との間に正のバネ特性を有する荷重支持機構を配設することにより、前記第1部材から第2部材に伝わる振動を絶縁するとともに、前記第2部材に係る荷重を前記磁気浮上機構と前記荷重支持機構により支持できるようにしたことを特徴とする

除振方法。

5. ベースと第1部材との間にバネを配設してベースから第1部材に伝わる振動を絶縁するとともに、前記第1部材と第2部材との間に負のバネ特性を有するゼロパワー磁気浮上機構を配置し、さらに第2部材とベースとの間に正のバネ特性を有する空気バネからなる荷重支持機構を配置することにより、前記第1部材から第2部材に伝わる振動を絶縁し、さらに、前記第2部材に作用する荷重の一部を前記荷重支持機構により支持することを特徴とする除振方法。

6. ベースに所定の正のバネ特性を有するバネによって支持された中間台と、該中間台に対して永久磁石と電磁石とから構成されて所定の負のバネ特性のゼロパワー特性を有する磁気浮上機構によって支持された除振テーブルとを備え、さらに前記除振テーブルとベースとの間には正のバネ特性を有する荷重支持機構を配置したことを特徴とする除振装置。

7. ベースに所定の正のバネ特性を有するバネによって支持された中間台と、該中間台に対して永久磁石と電磁石とから構成されて所定の負のバネ特性のゼロパワー特性を有する磁気浮上機構およびその磁気浮上機構と並列に配置した正のバネ特性を有するバネ要素によって支持された除振テーブルとを備え、さらに前記除振テーブルとベースとの間には正のバネ特性を有する荷重支持機構を配置したことを特徴とする除振装置。

8. ベースに所定の正のバネ特性を有するバネ要素とリニアアクチュエータとによって支持された中間台と、該中間台に対して永久磁石と電磁石とから構成されて所定の負のバネ特性のゼロパワー特性を有する磁気浮上機構によって支持された除振テーブルとを備え、さらに前記除振テーブルとベースとの間には正のバネ特性を有する荷重支持機構を配置したことを特徴とする除振装置。

9. 前記荷重支持機構は、正のバネ特性を有するバネ要素とそのバネ要素に並列に設けた所定の減衰率の減衰装置とから構成されていることを特徴とする請求項6～請求項8のいずれかに記載の除振装置。

10. 前記荷重支持機構は、正のバネ特性を有する空気バネであることを特徴とする請求項6～請求項8のいずれかに記載の除振装置。

11. 前記ベースと中間台との間に、前記正のバネ特性を有するバネ要素と併設

して所定の減衰率の減衰装置を設置したことを特徴とする請求項 6 ～請求項 10 のいずれかに記載の除振装置。

12. 前記磁気浮上機構を構成する電磁石の吸引力は除振テーブルへ作用する荷重の増減に応じて増減するように構成したことを特徴とする請求項 6 ～請求項 11 のいずれかに記載の除振装置。

13. 前記請求項 6 ～請求項 12 に記載の除振装置において、前記ベースと前記除振テーブルは、共に対向部材を連結部材で連結して構成し、さらにベースと除振テーブルの対向部材が交互と成るように配置され、中央部のベースおよび除振テーブルの対向部材の間に中間台を配置したことを特徴とする除振装置。

14. 前記請求項 6 ～請求項 13 に記載の除振装置において、前記ベースは除振装置を形成する床であることを特徴とする除振装置。

15. 前記請求項 6 ～請求項 13 に記載の除振装置において、少なくともベース、中間台、除振テーブルの一組を一つのユニットとしてまとめて構成したことを特徴とする除振装置。

16. ベースと第 1 部材との間にバネを配設してベースから第 1 部材に伝わる振動を絶縁するとともに、前記第 1 部材と第 2 部材との間にアクチュエータと制御装置から構成される支持機構により負のバネ特性を付与することによって、前記第 1 部材から第 2 部材に伝わる振動を絶縁し、さらに、前記第 2 部材とベースとの間に正のバネ特性を有する荷重支持機構を配置して、第 2 部材に作用する荷重の一部を前記荷重支持機構により支持することを特徴とする除振方法。

17. ベースと第 1 部材との間にバネを配設してベースから第 1 部材に伝わる振動を絶縁し、さらに前記第 1 部材と第 2 部材との間にアクチュエータと制御装置から構成される支持機構により負のバネ特性を付与するとともに前記第 1 部材と第 2 部材との間に正のバネ特性を有するバネ要素を配置することによって、前記第 1 部材から第 2 部材に伝わる振動を絶縁し、さらに、前記第 2 部材とベースとの間に正のバネ特性を有する荷重支持機構を配置して、第 2 部材に作用する荷重の一部を前記荷重支持機構により支持することを特徴とする除振方法。

18. ベースと第 1 部材との間に正のバネ特性を有する支持機構とリニアアクチュエータとを配設してベースから第 1 部材に伝わる振動を絶縁し、さらに前記第



1 部材と第 2 部材との間にアクチュエータと制御装置から構成される支持機構により負のバネ特性を付与するとともに前記アクチュエータと並列に前記第 1 部材と第 2 部材との間に正のバネ特性を有するバネ要素を配置することによって、前記第 1 部材から第 2 部材に伝わる振動を絶縁し、さらに、前記第 2 部材とベースとの間に正のバネ特性を有する荷重支持機構を配置して、第 2 部材に作用する荷重の一部を前記荷重支持機構により支持することを特徴とする除振方法。

1 9. ベースに所定の正のバネ特性を有するバネ要素によって支持された中間台と、該中間台に対してアクチュエータと制御装置から構成されて所定の負のバネ特性を有する支持機構によって支持された除振テーブルとを備え、前記除振テーブルとベースとの間には正のバネ特性を有する荷重支持機構を配置したことを特徴とする除振装置。

2 0. ベースに所定の正のバネ特性を有するバネ要素とリニアアクチュエータとによって支持された中間台と、該中間台に対してアクチュエータと制御装置から構成されて所定の負のバネ特性を有する支持機構によって支持された除振テーブルとを備え、前記除振テーブルとベースとの間には正のバネ特性を有する荷重支持機構を配置したことを特徴とする除振装置。

2 1. 前記中間台と除振テーブルとの間に設ける支持機構（アクチュエータ）と並列に正のバネ特性を有するバネ要素を備えたことを特徴とする請求項 1 9 または請求項 2 0 に記載の除振装置。

2 2. 前記請求項 1 9 ～請求項 2 1 に記載の除振装置において、前記ベースと前記除振テーブルは、共に対向部材を連結部材で連結して構成し、さらにベースと除振テーブルの対向部材が交互と成るように配置され、中央部のベースおよび除振テーブルの対向部材の間に中間台を配置したことを特徴とする除振装置。

2 3. 前記請求項 1 9 ～請求項 2 2 に記載の除振装置において、前記ベースは除振装置を形成する床であることを特徴とする除振装置。

2 4. 前記請求項 1 9 ～請求項 2 2 に記載の除振装置において、少なくともベース、中間台、除振テーブルの一组を一つのユニットとしてまとめて構成したことを特徴とする除振装置。

2 5. ベースに所定の正のバネ特性を有するバネ要素によって支持された複数の

中間台と、該複数の中間台に対してアクチュエータと制御装置から構成されて所定の負のバネ特性を有する支持機構によって支持された除振テーブルとを備え、前記除振テーブルとベースとの間には正のバネ特性を有する荷重支持機構を配置したことを特徴とする除振装置。

26. 前記荷重支持機構は、正のバネ特性を有するバネとそのバネに並列に設けた所定の減衰率の減衰装置とから構成されていることを特徴とする請求項19～請求項25のいずれかに記載の除振装置。

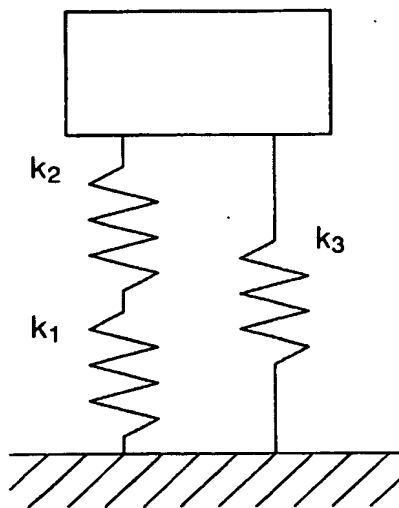
27. 前記荷重支持機構は、正のバネ特性を有する空気バネであることを特徴とする請求項19～請求項25のいずれかに記載の除振装置。

28. 前記ベースと中間台との間に、前記正のバネ特性を有するバネと併設して所定の減衰率の減衰装置を設置したことを特徴とする請求項19～請求項25のいずれかに記載の除振装置。

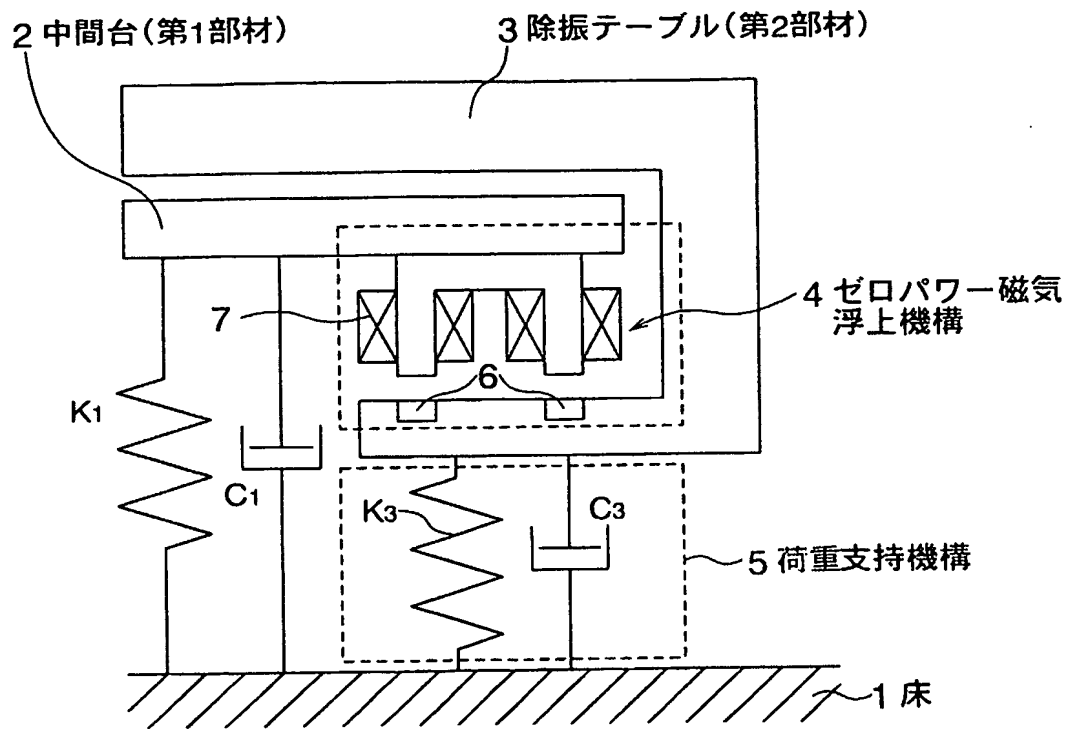
29. 前記中間台に設けられたアクチュエータの伸びを除振テーブルへ作用する荷重の増減に応じて増減させるように構成したことを特徴とする請求項25～請求項28のいずれかに記載の除振装置。

30. 前記アクチュエータがボイスコイルモータ、リニアモータ、空気圧アクチュエータ、油圧アクチュエータ等のリニアアクチュエータであり、前記制御装置が変位センサおよび制御回路ならびに電力増幅器から構成されたことを特徴とする請求項19～請求項29のいずれかに記載の除振装置。

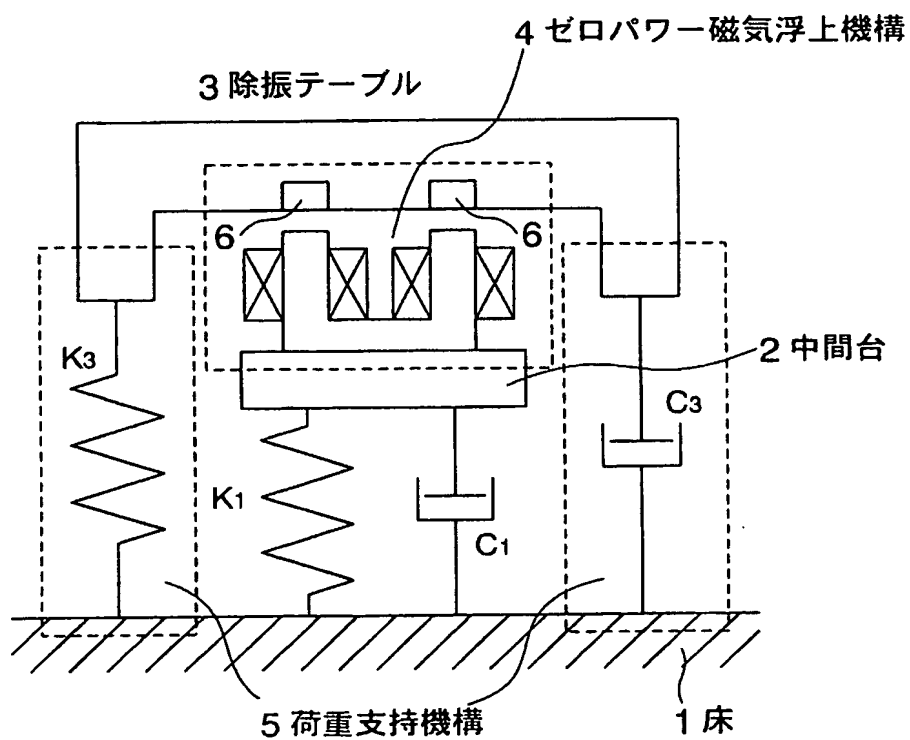
第1図



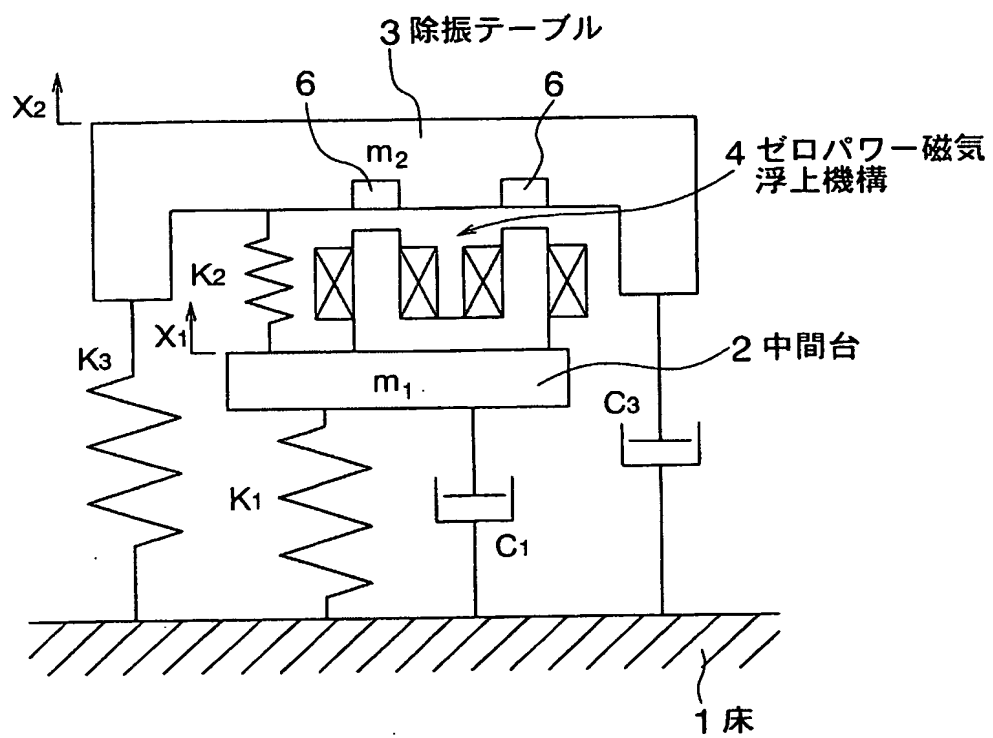
第2図



第3図

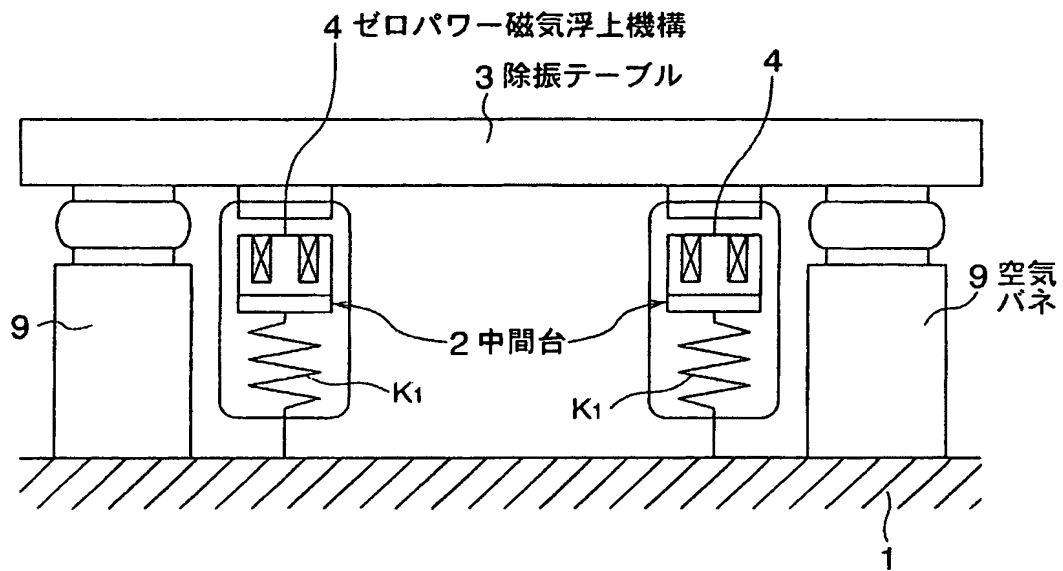


第4図



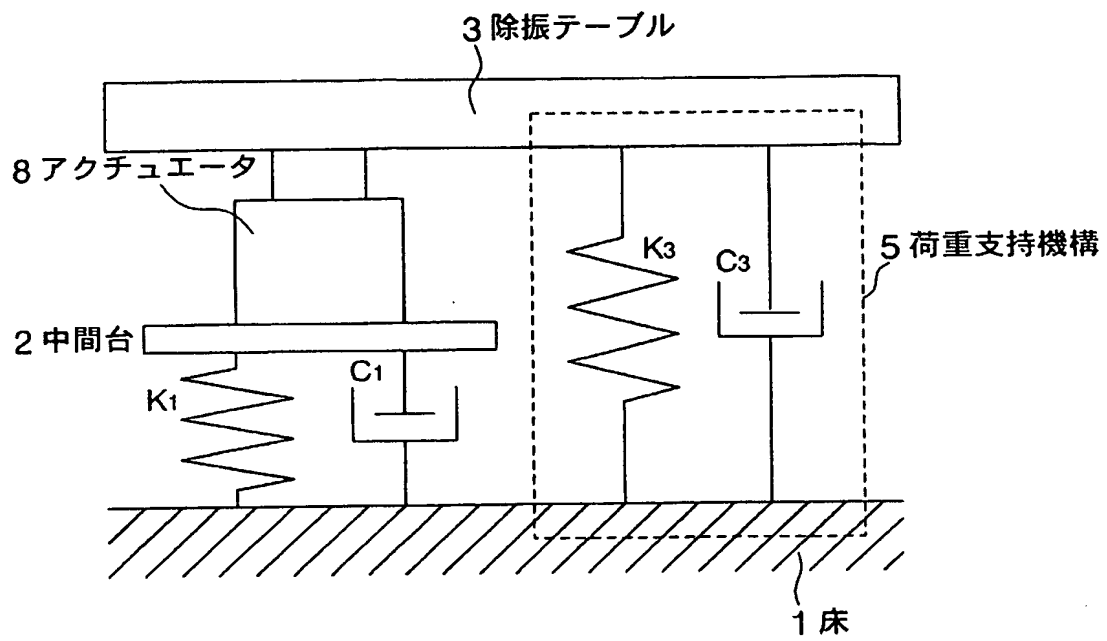


第6図

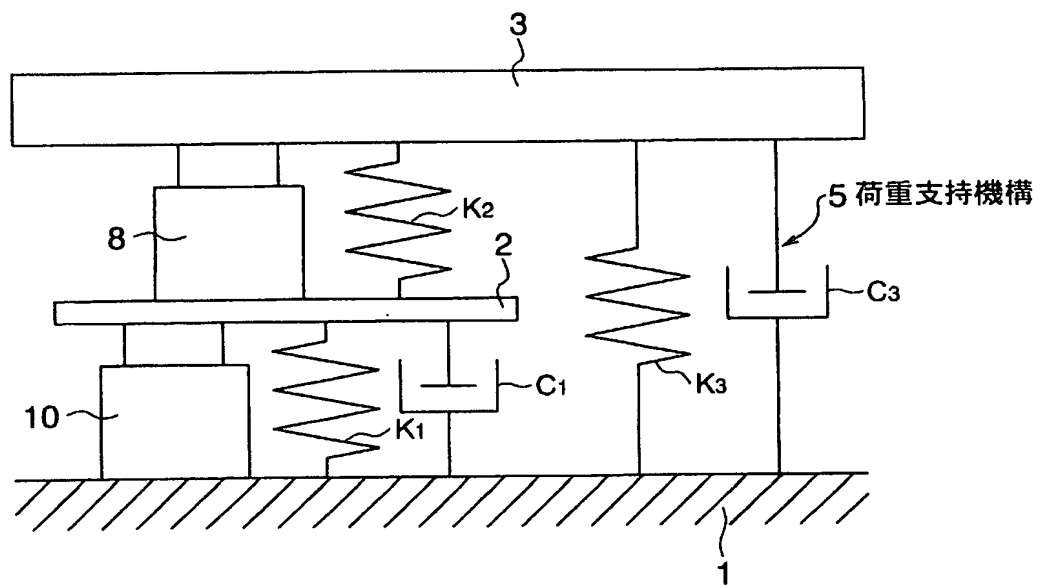




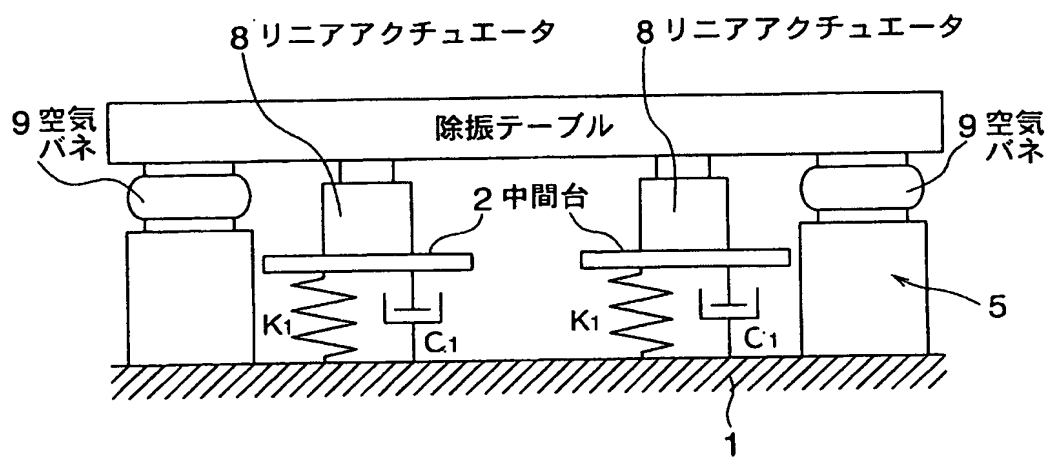
第7図



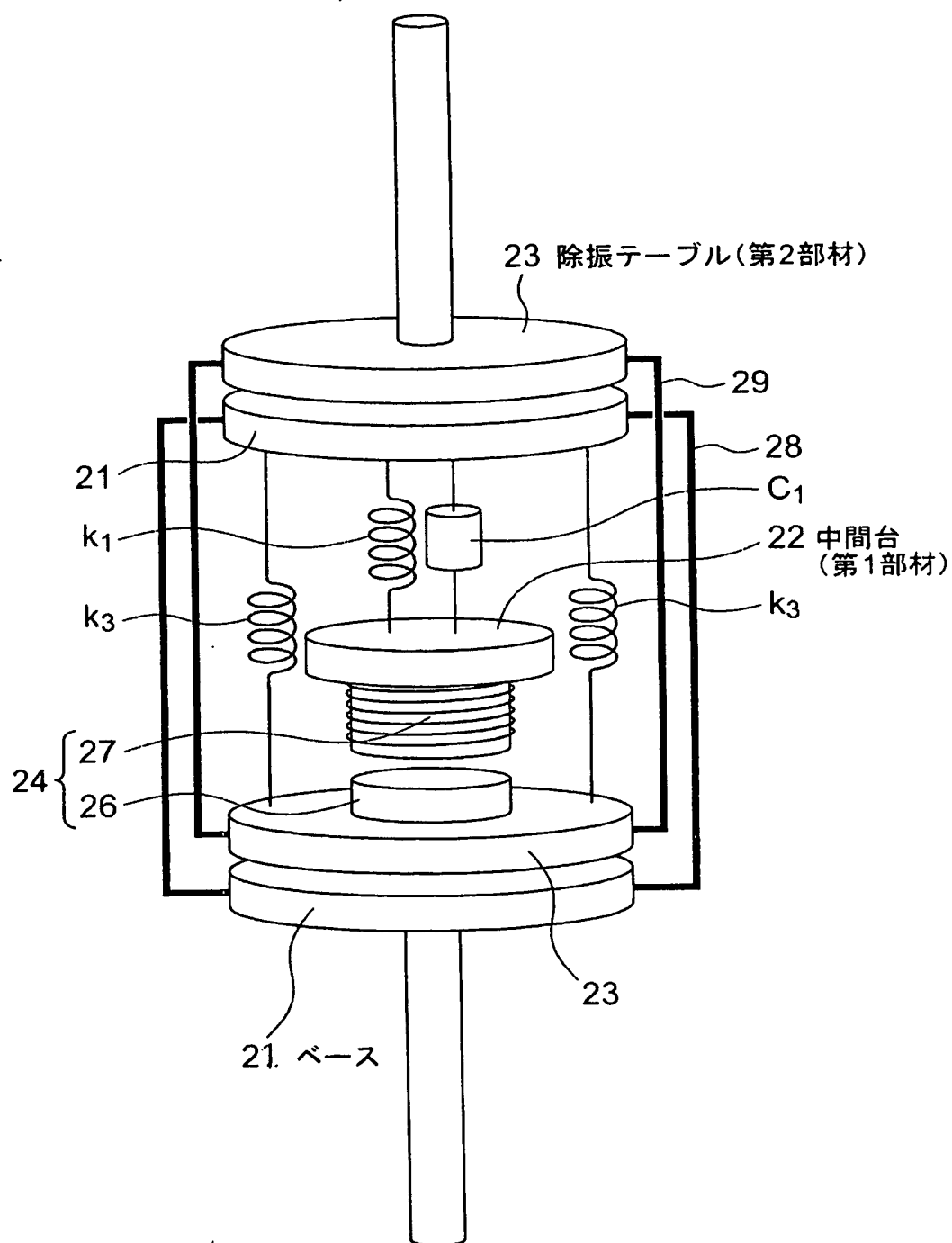
第8図



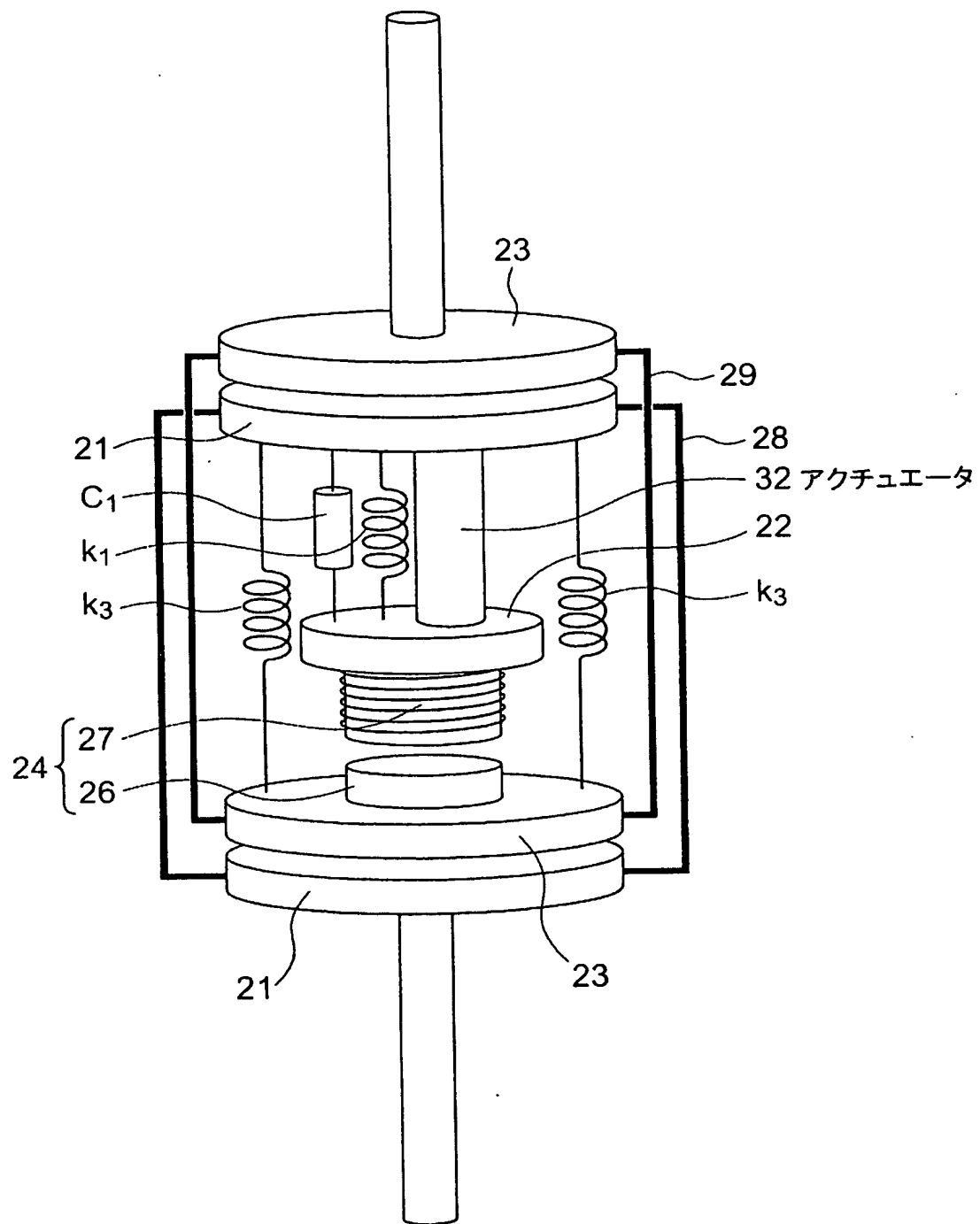
第9図



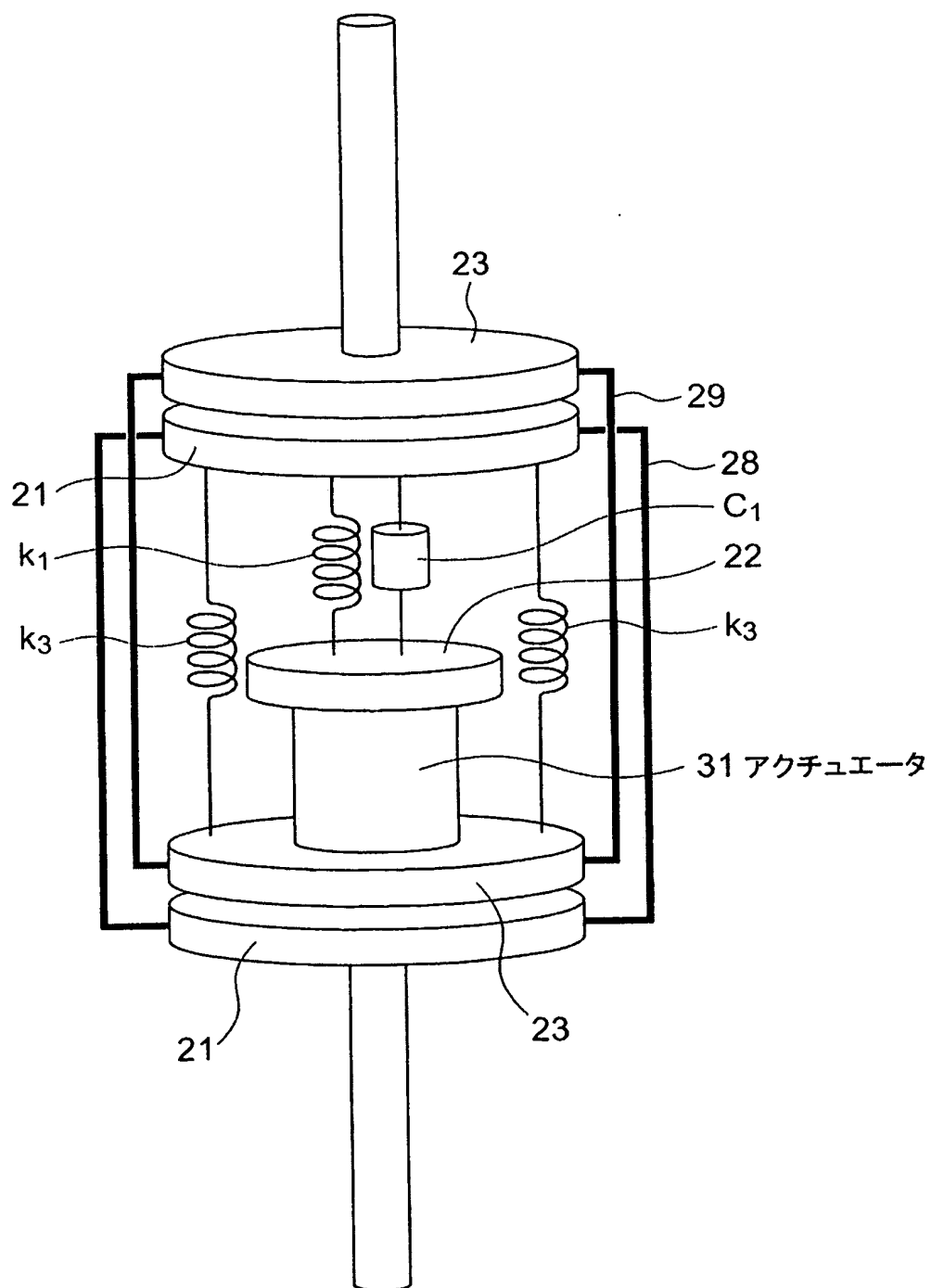
第 10 図



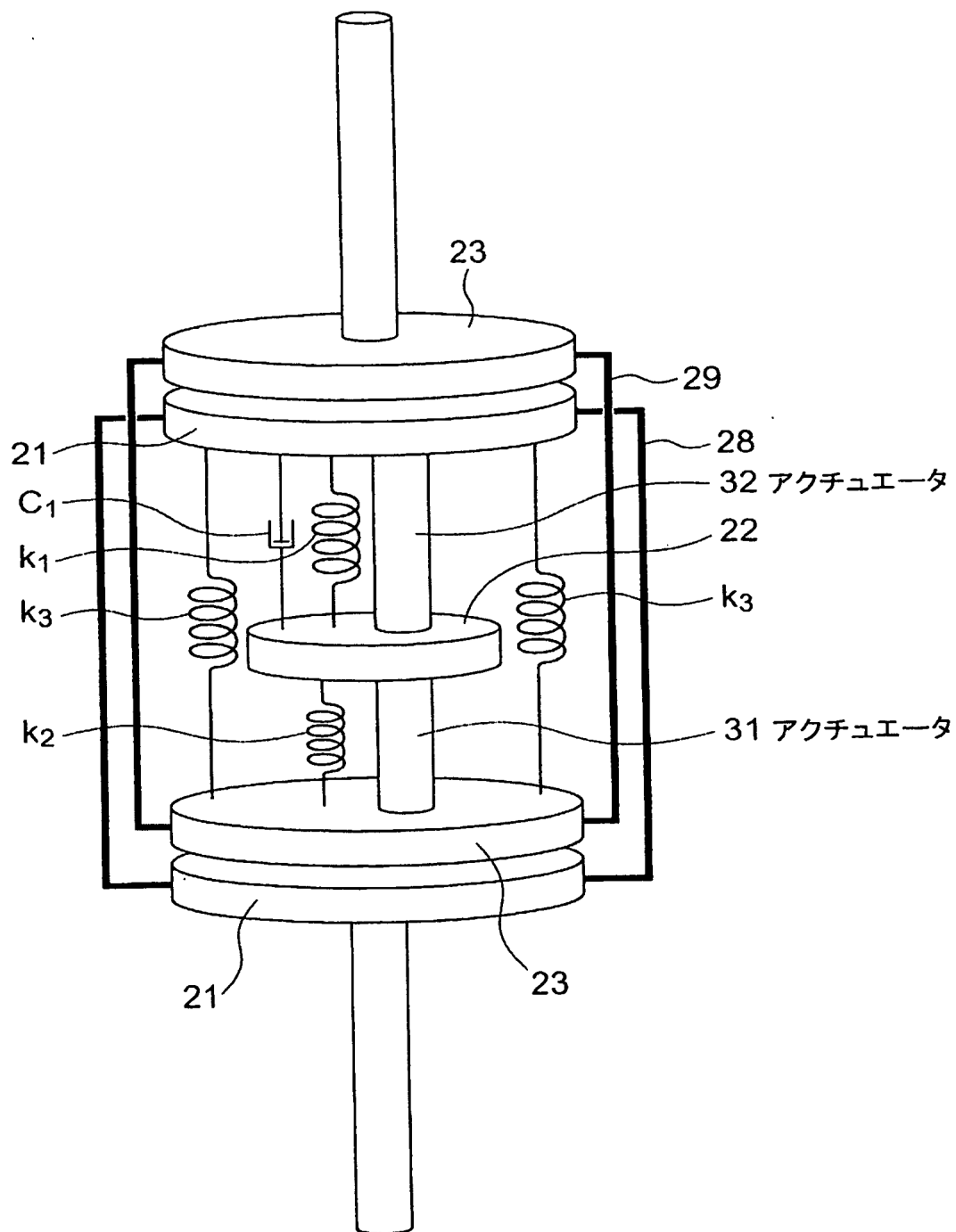
第 1 1 図



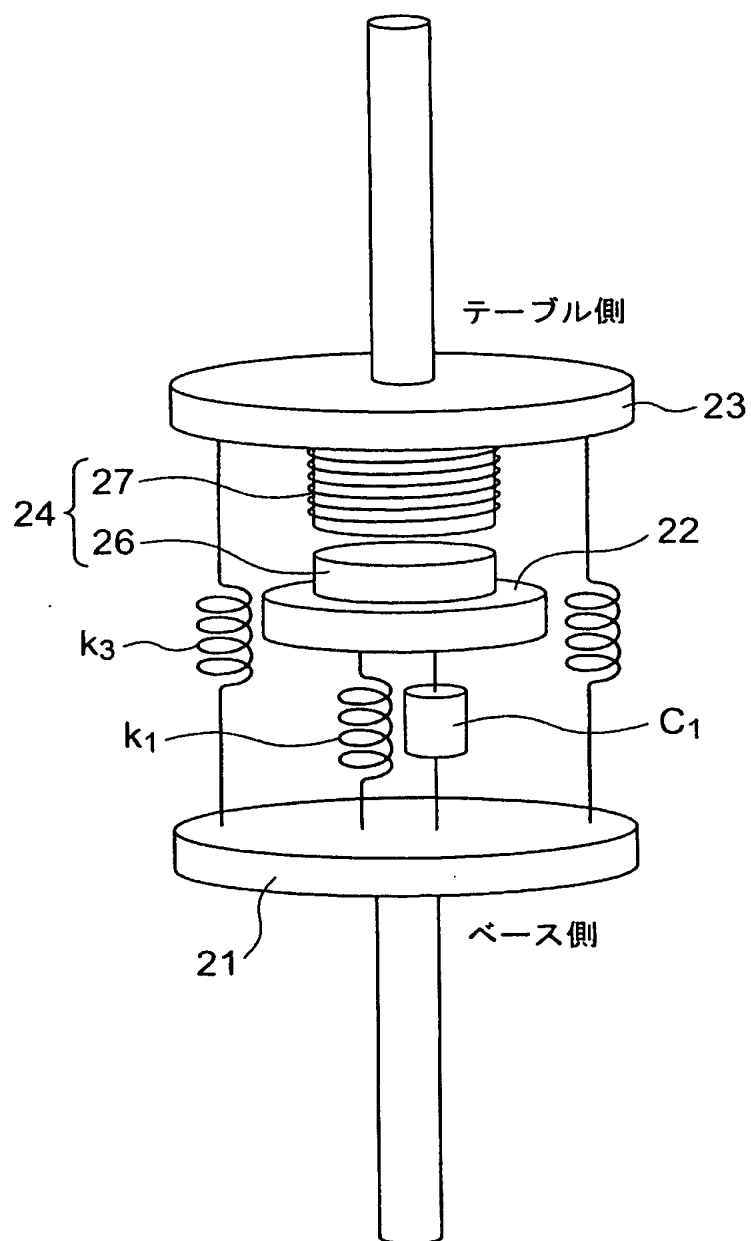
第 12 図



第 13 図

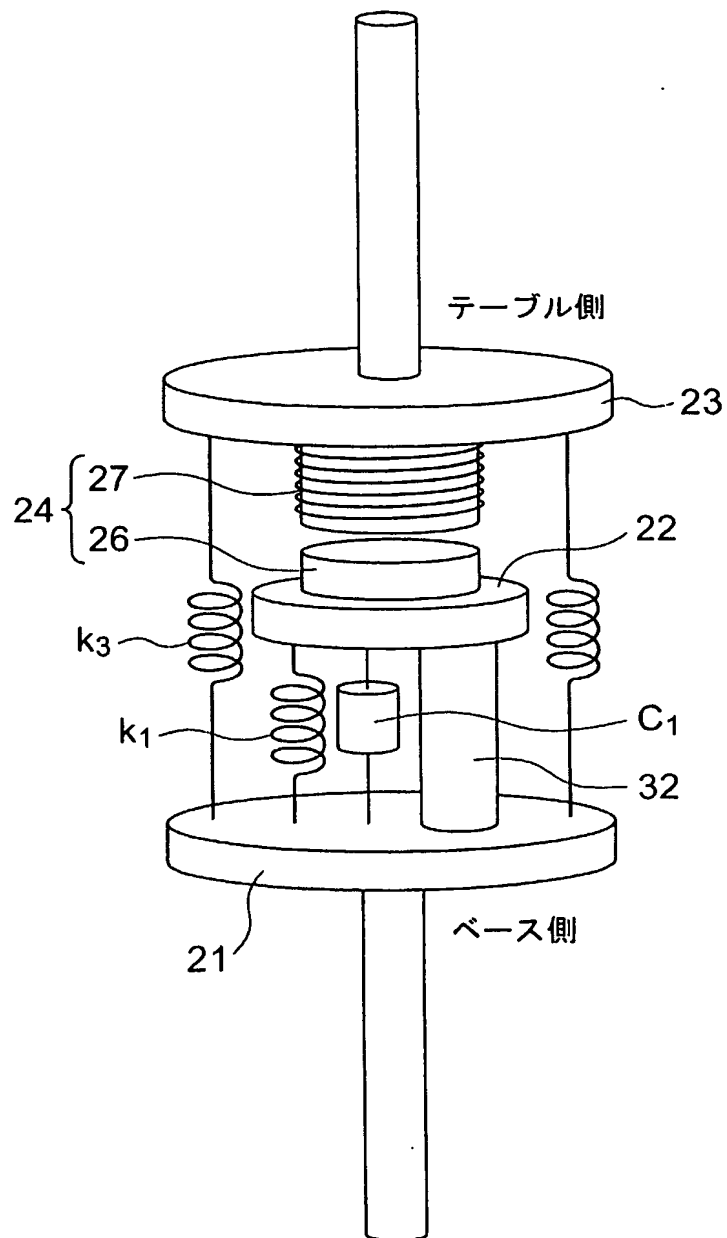


第 1 4 図

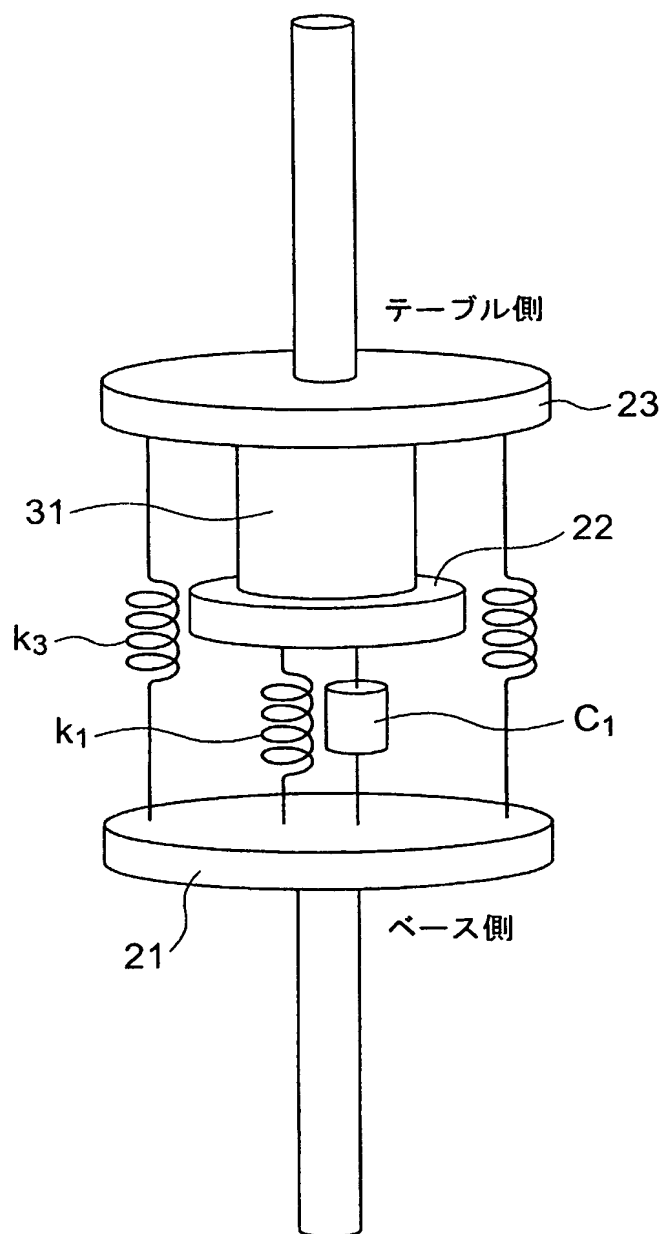




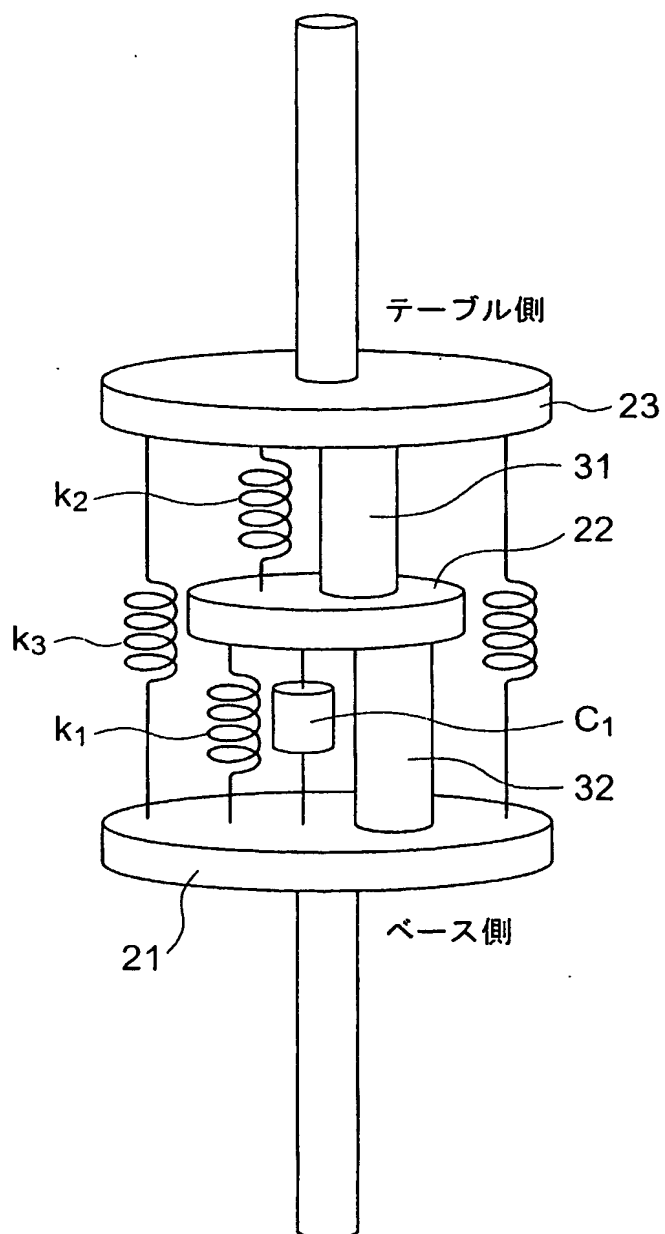
第 1 5 図



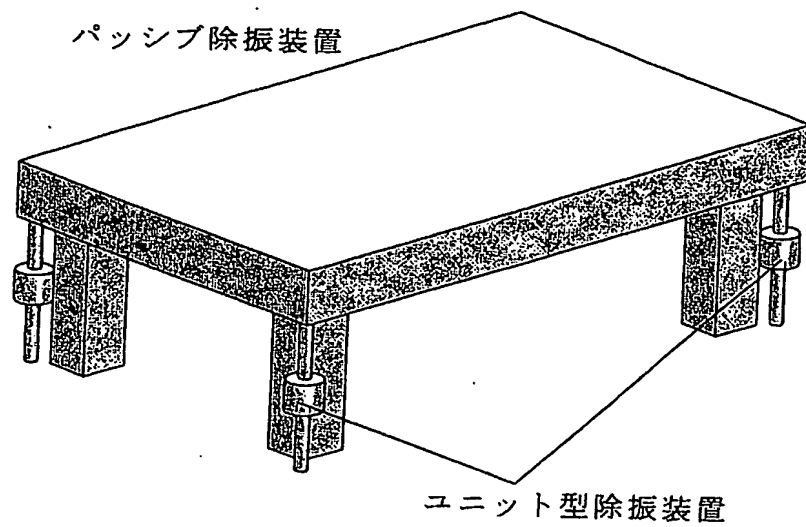
第16図



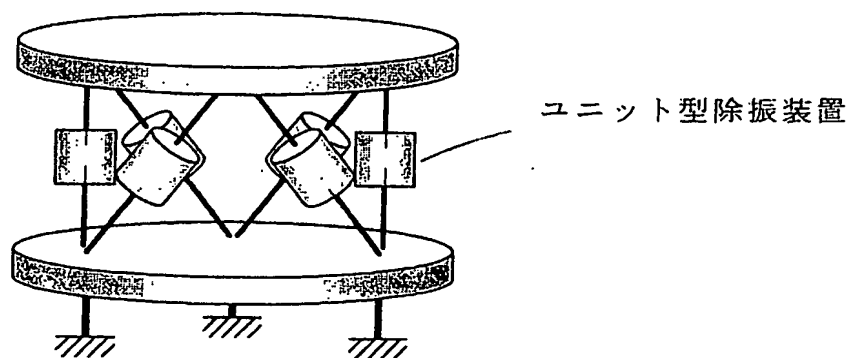
第 17 図



第18図



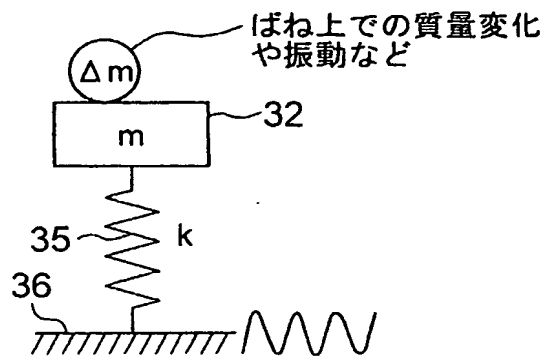
第19図



第20図

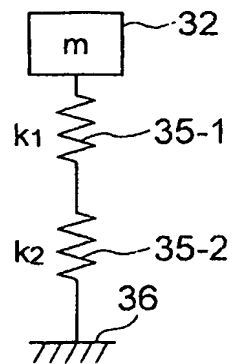
(A)

直動外乱 (ばね上に発生する外乱)



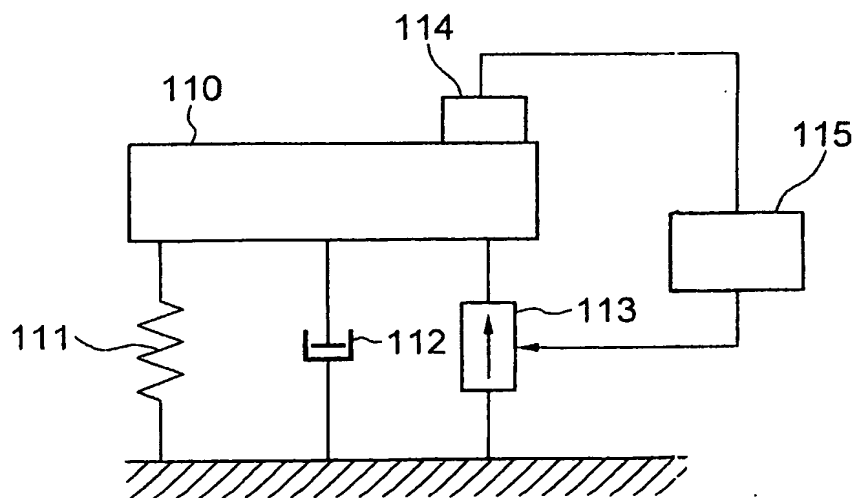
地動外乱 (設置床からの振動)

(B)



従来の除振システム

第21図



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/004491

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> F16F15/03

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> F16F15/03, B23Q1/00, 11/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-81498 A (Japan Science and Technology Corp.),	1-12, 14-21,
A	22 March, 2002 (22.03.02),	23-30
	Full text; Figs. 1, 9 to 10	13, 22
	(Family: none)	
Y	JP 8-312715 A (Canon Inc.),	1-12, 14-21,
	26 November, 1996 (26.11.96),	23-30
	Par. Nos. [0009] to [0012], [0042]	
	(Family: none)	
A	JP 6-129487 A (Hitachi, Ltd.),	1-30
	10 May, 1994 (10.05.94),	
	Fig. 15	
	(Family: none)	

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
24 June, 2004 (24.06.04)

Date of mailing of the international search report  
13 July, 2004 (13.07.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl<sup>1</sup> F16F15/03

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl<sup>1</sup> F16F15/03, B23Q1/00, 11/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
日本国公開実用新案公報 1971-2004年  
日本国登録実用新案公報 1994-2004年  
日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y A	J P 2002-81498 A (科学技術振興事業団) 2002.03.22, 全文, 第1図, 第9-10図 (ファミリーなし)	1-12, 14-21 23-30 13, 22
Y	J P 8-312715 A (キヤノン株式会社) 1996.11.26, 段落【0009】-【0012】, 【0042】 (ファミリーなし)	1-12, 14-21 23-30
A	J P 6-129487 A (株式会社日立製作所) 1994.05.10, 第15図 (ファミリーなし)	1-30

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

\* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

24.06.2004

国際調査報告の発送日

13.7.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

藤村聖子

3W

9425

電話番号 03-3581-1101 内線 3366